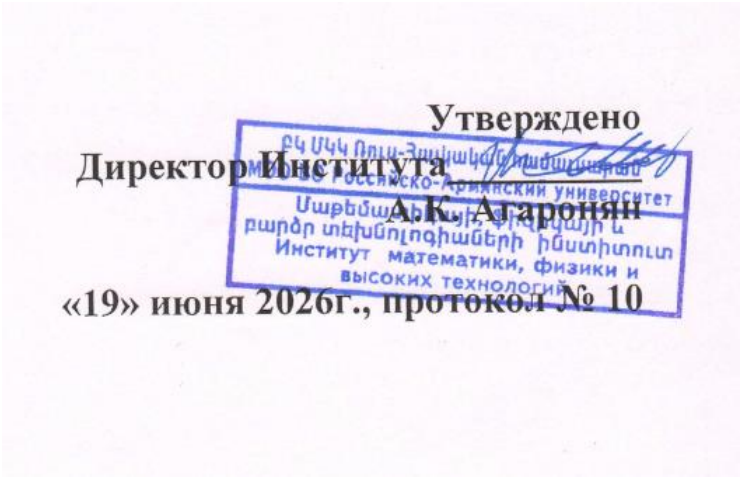
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.03.01 Физика лазерного излучения и оптических полей

Автор (ы) _к.ф.-м.н., преподаватель Манташян Пайцар Агвановна
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

«Лаборатория по квантовой оптике» предназначена для изучения фундаментальных принципов и современных экспериментальных методов, применяемых в области квантовой оптики. Курс предоставляет студентам теоретическую базу и практические навыки, необходимые для исследования взаимодействия света с веществом на квантовом уровне. Основное внимание уделяется изучению таких явлений, как когерентность, интерференция, дифракция, а также уникальных квантовых свойств света, включая однофотонные состояния и квантовую запутанность.

Курс состоит из двух основных частей:

1. **Теоретическая подготовка**
    - Основы когерентного и некогерентного излучения;
    - Квантовая природа света и фотонов;
    - Взаимодействие света с атомами, молекулами и наноструктурами;
    - Применение квантовой оптики в современных технологиях, включая квантовую криптографию и квантовые вычисления.
2. **Практическая работа**
    - Проведение лабораторных экспериментов с использованием лазеров, интерферометров и поляриметров;
    - Изучение процессов спонтанного и вынужденного излучения;
    - Анализ поляризации света и его воздействия на различные квантовые системы;
    - Работа с современным оптическим оборудованием, таким как детекторы фотонов, спектрометры и модуляторы.

Студенты также занимаются исследовательской деятельностью, проводя самостоятельные эксперименты, что позволяет им закрепить полученные знания, развить критическое мышление и получить опыт в постановке научных задач. В результате освоения дисциплины студенты будут готовы к решению прикладных и научных задач в области квантовой оптики, а также к участию в исследованиях, связанных с развитием технологий на базе квантовых явлений.

Курс сочетает фундаментальный подход с практической направленностью, обеспечивая студентов необходимыми навыками для дальнейшего развития в области квантовых технологий и оптической физики.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

5 академических кредитов / 180 часов. Форма итогового контроля — экзамен.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Физика 3, Введение в квантовую механику, Углубленный курс квантовой механики и Квантовая Информатика.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ПК-3	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	ПК-3.1	Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований
		ПК-3.2	Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования
		ПК-3.3	Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов
ПК-6	Способен организовывать работу	ПК-6.1	Знает принципы организации

	коллективов исполнителей		работ современных научно-исследовательских коллективов
		ПК-6.2	Умеет организовывать работу коллективов исполнителей
		ПК-6.3	Владеет методами управления малыми коллективами исполнителей

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины:

Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области квантовой оптики, необходимых для проведения научных исследований и решения задач, связанных с изучением квантовых свойств света и его взаимодействия с веществом.

Задачи дисциплины:

1. Ознакомить студентов с фундаментальными принципами квантовой оптики, включая когерентность, интерференцию, дифракцию и квантовые состояния света.
2. Развить умение работать с современным лабораторным оборудованием, включая лазеры, интерферометры, спектрометры и поляриметры.
3. Научить анализировать результаты экспериментов и интерпретировать квантовые эффекты, такие как запутанность, суперпозиция и однофотонные состояния.
4. Сформировать навыки самостоятельного проведения экспериментов, включая постановку задач, выбор методов исследования и обработку данных.
5. Развить умение применять квантовую оптику в решении прикладных задач, включая квантовую криптографию и метрологию.
6. Подготовить студентов к участию в научных проектах и разработке новых технологий на основе квантовых эффектов.

Курс направлен на комплексное освоение теории и практики квантовой оптики, что обеспечит подготовку студентов к профессиональной и исследовательской деятельности.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**
		1 сем
1	**2**	**3**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**180**	**180**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**48**	**48**
1.1.1. Лекции	**16**	**16**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.		
1.1.3. Лабораторные работы	**32**	**32**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**78**	**78**
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен**	**54**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	**Всего (ак. часов)**	**Лекции (ак. часов)**	**Лаб. Занятия (ак. часов)**
1	**2=3+4+5+6+7**	**3**	**4**
Тема 1. Основы фотоники и волноводной оптики	**12**	**4**	**8**
Тема 2. Компоненты фотонных интегральных схем	**9**	**3**	**6**
Тема 3. Материалы и технологии изготовления ФИС	**9**	**3**	**6**
Тема 4. Проектирование и моделирование ФИС	**9**	**3**	**6**
Тема 5. Применения и перспективы ФИС	**9**	**3**	**6**
ИТОГО	**48**	**16**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Введение в квантовые лаборатории
Краткий обзор основных концепций квантовой механики, лежащих в основе экспериментальных установок. Роль эксперимента в проверке и иллюстрации квантовых явлений.
Тема 2. Квантовые состояния и суперпозиция
Определение квантового состояния. Принцип суперпозиции. Простые эксперименты, демонстрирующие интерференцию и поведение одиночных фотонов.
Тема 3. Поляризация света как модель кубита
Изучение линейной, круговой и эллиптической поляризаций. Использование поляризационного кубита в простых квантовых операциях. Основы работы с поляризаторами и анализаторами.
Тема 4. Эксперименты Алисы и Боба: основы квантовой передачи информации
Моделирование передачи кубитов между Алисой и Бобом. Принципы измерения в несовместимых базисах. Иллюстрация неопределённости и необратимости измерения.
Тема 5. Протокол BB84 и основы квантовой криптографии
Экспериментальная реализация одного из первых квантовых криптографических протоколов. Принцип случайного выбора базиса. Роль наблюдателя (Евы) в нарушении корреляций.
Тема 6. Квантовая интерференция и квантовый ластик
Классический опыт с интерференцией на двух щелях. Реализация квантового ластика — удаление "знания" о прохождении через щель восстанавливает интерференционную картину. Иллюстрация принципа дополнительности.
Тема 7. Квантовая запутанность и корреляции
Обзор экспериментов по квантовой запутанности. Теоретические основы и простые демонстрации (световые импульсы, коррелированные поляризации).
Тема 8. Измерения и разрушение квантового состояния
Изучение влияния измерения на систему. Отличие слабого и проективного измерения. Практическая демонстрация необратимости измерения.
Тема 9. Визуализация квантовых процессов
Работа с программами визуализации квантовых состояний (например, Bloch-sphere симуляторы). Представление операций и преобразований на кубитах.
Тема 10. Проектные работы и мини-исследования
Разработка и проведение студентами простых квантовых экспериментов или численного моделирования. Презентация результатов. Обсуждение трудностей и интерпретаций.

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Исследование поляризации света и работа с поляризационными фильтрами
– Определение линейной, круговой и эллиптической поляризации.
– Работа с поляризаторами и анализаторами.
– Представление поляризационного состояния на сфере Блоха.
Моделирование квантового бита (кубита) с помощью поляризации фотонов
– Подготовка произвольных квантовых состояний.

– Измерение в различных базисах (H/V, D/A).
– Принцип неопределённости в действиях Алисы и Боба.

Эксперимент по квантовому протоколу BB84 (Алиса и Боб)

– Реализация отправки случайных битов.
– Измерения Боба в разных базисах.
– Сравнение битов и построение итогового ключа.
– Влияние наблюдателя (Евы) на результаты.

Квантовый ластик: наблюдение и стирание "информации" о пути

– Интерференция на двойной щели.
– Идентификация прохождения через щель и разрушение интерференции.
– Удаление «информации» и восстановление интерференционной картины.

Корреляции и квантовая запутанность (демонстрационная установка)

– Изучение предсказаний квантовой механики и классических ожиданий.
– Качественное наблюдение коррелированных состояний.
– Обсуждение парадокса ЭПР.

Влияние измерения на квантовое состояние

– Демонстрация необратимости измерения.
– Изучение различий между сильным и слабым измерением (концептуально).
– Разбор реальных физических ограничений при наблюдении квантовых систем.

Визуализация квантовых состояний и протоколов

– Работа с интерактивными моделями (Bloch Sphere Simulator, Quantum Composer и др.).
– Визуальное представление операций над кубитами.
– Простая симуляция шумов и ошибок передачи.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Лаборатория для проведения практических занятий

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	**Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)**		**Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей**		**Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)**	**Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля**
Вид учебной работы/контроля	**М1[1]**	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								

[1] Учебный Модуль

Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. **Теоретический блок** ***(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)***

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

Гаручо Д. Квантовая оптика: введение — М.: Мир, 2006

Fox M. Quantum Optics: An Introduction — Oxford University Press, 2006

Zeilinger A. Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation — Farrar, Straus and Giroux, 2010

4. **Фонды оценочных средств** ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Планы практических занятий

- ✓ **Поляризация света как модель квантового состояния**
  – Изучение линейной и круговой поляризации
  – Работа с поляризаторами и анализаторами
  – Визуализация состояний на сфере Блоха
- ✓ **Моделирование кубита с помощью поляризационного фильтра**
  – Подготовка заданного квантового состояния

– Проведение измерений в разных базисах (H/V, D/A)
– Анализ вероятностей исходов

- ✓ **Передача квантовой информации: Алиса и Боб**
  – Ролевая модель отправки и измерения поляризованных фотонов
  – Демонстрация принципа несовместимости измерений
  – Анализ совпадений и ошибок
- ✓ **Протокол BB84 и основы квантовой криптографии**
  – Генерация случайных битов и базисов
  – Формирование общего ключа
  – Обнаружение вмешательства "Евы" и анализ ошибок
- ✓ **Квантовый ластик: удаление информации о прохождении**
  – Интерференция при известном и неизвестном пути
  – Исчезновение и восстановление интерференционной картины
  – Понимание принципа дополнительности
- ✓ **Симуляция квантовых операций и состояний**
  – Использование сферы Блоха и квантовых симуляторов (IBM, Quantum Composer)
  – Применение логических вентилей: X, Z, H, измерение
  – Наблюдение изменения состояния в реальном времени
- ✓ **Запутанность: визуализация и интерпретация** *(опционально)*
  – Демонстрация коррелированных состояний (модельно)
  – Интерпретация квантовых корреляций
  – Обсуждение парадокса ЭПР
- ✓ **Проектное задание: подготовка собственного простого квантового протокола**
  – Командная разработка сценария
  – Демонстрация в классе
  – Анализ результата и обсуждение

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- ✓ Объясните принцип суперпозиции в квантовой механике.
- ✓ Что такое коллапс волновой функции?
- ✓ В чём отличие классической частицы от кубита?
- ✓ Постройте аналогию между монеткой и кубитом.
- ✓ Нарисуйте и поясните сферу Блоха.
- ✓ Изобразите состояния $|0\rangle$, $|1\rangle$, $|+\rangle$, $|-\rangle$ на сфере Блоха.
- ✓ Опишите действие операторов X, Z, H на кубит.
- ✓ Объясните измерение кубита в разных базисах.
- ✓ Опишите виды поляризации света: линейная, круговая, эллиптическая.
- ✓ Как поляризация используется для моделирования кубита?

- ✓ Рассчитайте интенсивность прохождения света через два поляризатора при угле 45°.
- ✓ Составьте таблицу выбора базисов Алисы и Боба в протоколе BB84 (на 20 бит).
- ✓ Опишите процесс формирования общего ключа в BB84.
- ✓ Как можно обнаружить подслушивателя в квантовой криптографии?
- ✓ Почему квантовая криптография считается защищённой?
- ✓ Что такое квантовый ластик и как он работает?
- ✓ Нарисуйте схему эксперимента с квантовым ластиком.
- ✓ Объясните, как наличие или отсутствие информации влияет на интерференционную картину.
- ✓ Смоделируйте простую квантовую схему с гейтами H → X → H.
- ✓ Что происходит при действии гейта Z на состояние |+⟩?
- ✓ Смоделируйте в симуляторе передачу кубита с помехами.
- ✓ Подготовьте мини-проект на тему: «Квантовый протокол передачи зашифрованного сообщения».

4.3. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Вариант 1

Объясните принцип суперпозиции.

Нарисуйте и прокомментируйте сферу Блоха.

Рассчитайте прохождение света через два поляризатора (угол 45°).

Опишите выполнение протокола BB84 на примере 8 бит.

Объясните принцип действия квантового ластика.

Вариант 2

Что такое кубит и как он отличается от классического бита?

Описать действие квантовых гейтов X, H, Z.

Как реализовать кубит с помощью поляризации света?

Составить таблицу базисов Алисы и Боба (BB84, 10 бит).

Как наличие или отсутствие информации влияет на интерференцию в квантовом ластике?

Вариант 3

Объясните коллапс волновой функции.

Нарисуйте схему: H → X → H и укажите итоговое состояние.

Как определить наличие подслушивателя в BB84?

Рассчитайте вероятность прохождения фотона через поляризаторы с углом 30°.

Чем опыт с квантовым ластиком отличается от классических представлений?

Вариант 4

Дайте определение квантовой запутанности.

Объясните роль гейта Hadamard в квантовых алгоритмах.

Смоделируйте простую схему шифрования с использованием BB84.

Проанализируйте ошибки в ключе (по заданной таблице базисов).

Нарисуйте и прокомментируйте схему квантового ластика.

4.4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Понятие суперпозиции и измерения в квантовой механике
2. Определение кубита и его геометрическое представление на сфере Блоха
3. Квантовые гейты: X, Z, H — действие и матричное представление
4. Принцип неопределённости и его роль в квантовых экспериментах
5. Что такое интерференция? Как она проявляется в квантовом эксперименте с одним фотоном?
6. Опыт с поляризаторами: физическая интерпретация и расчёт интенсивности
7. Принципы квантовой криптографии. Основы протокола BB84
8. Сравнение классических и квантовых методов шифрования
9. Квантовый ластик: описание эксперимента и его философское значение
10. Как стирание информации влияет на интерференционную картину?
11. Запутанные состояния: определение, свойства и примеры
12. Обнаружение подслушивателя в протоколе BB84: методика и анализ
13. Роль случайности в квантовой механике и квантовых коммуникациях
14. Фотон как носитель информации: квантовое описание
15. Моделирование квантовых схем: логика, блоки, назначение
16. Роль наблюдателя в квантовой системе: физика и интерпретации
17. Основы квантовой телепортации: схема и принципы
18. Практическое применение квантовой криптографии в современных технологиях
19. Опыт Алисы и Боба: как интерпретировать обмен данными через квантовый канал
20. Перспективы развития квантовых коммуникаций и квантовых лабораторий

4.5. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Фотонные интегральные схемы
(бакалавриат IV-ый курс, II-ой семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Квантовые гейты: X, Z, H — действие и матричное представление
2. Обнаружение подслушивателя в протоколе BB84: методика и анализ
3. Основы квантовой телепортации: схема и принципы

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.